

Method for controlling transfer axes

Patent number: DE4323831
Publication date: 1995-02-23
Inventor: KLAERNER THOMAS DR ING (DE); GEORGI
MICHAEL DIPL ING (DE)
Applicant: SIBEA GMBH INGENIEURBETRIEB FU (DE)
Classification:
- **international:** G06F19/00; B23Q7/00
- **european:** G05B19/416
Application number: DE19934323831 19930716
Priority number(s): DE19934323831 19930716

Abstract of DE4323831

The invention relates to a method for controlling transfer axes having individual drives of a supply or parts transport device on machine tools.

The method is characterised in that the desired position values of the individual transfer axes are formed in accordance with transfer functions $y(x)$ which are matched to the respective kinematic and dynamic requirements, in that in the case of transfer axes moving in synchronism with a master movement the signals for the master movement which are picked up in one scanning interval via an actual value transmitter are passed on to a control unit, from these in a first step within the scanning interval the argument x of the normalised transfer function is determined, preferably by means of dividing the instantaneously traversed stretch of the master axis by a predetermined total travel of the master axis and multiplying this value by a constant normalisation factor and, in a second step, a function value y is determined which is unnormalised, preferably by multiplying by a technology-dependent factor, and the unnormalised value is passed on to the position controller.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

THIS PAGE BLANK (ISPT)

⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 23 831 A 1**

⑥ Int. Cl.⁶:
G 06 F 19/00
// B23Q 7/00

⑲ Aktenzeichen: P 43 23 831.9
⑳ Anmeldetag: 16. 7. 93
㉑ Offenlegungstag: 23. 2. 95

DE 43 23 831 A 1

⑦① Anmelder:
SIBEA GmbH Ingenieurbetrieb für
Elektroautomation, 08056 Zwickau, DE

⑦④ Vertreter:
Helge, R., Dipl.-Ing. Faching. f. Schutzrechtswesen;
Thoß, E., Pat.-Anwälte, 08223 Falkenstein

⑦② Erfinder:
Klärner, Thomas, Dr.-Ing., 08064 Zwickau, DE;
Georgi, Michael, Dipl.-Ing., 08066 Zwickau, DE

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht zu ziehende Druckschriften:
DE 31 34 091 A1
SU 17 11 314 A1

⑤④ Verfahren zur Steuerung von Transferachsen.

⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung von Transferachsen mit Eigenantrieb einer Zufuhr- oder Teiltransporteinrichtung an Werkzeugmaschinen. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß die Positionssollwerte der einzelnen Transferachsen nach Übertragungsfunktionen $y(x)$, die den jeweiligen kinematischen und dynamischen Forderungen angepaßt sind, gebildet werden, indem die, bei synchron zu einer Masterbewegung sich bewegenden Transferachsen, über einen Istwertgeber in einem Abtastintervall aufgenommenen Signale, für die Masterbewegung einer Steuereinheit übergeben werden, daraus in einem ersten Schritt innerhalb des Abtastintervalls das Argument x der normierten Übertragungsfunktion ermittelt wird, vorzugsweise durch Division von momentan zurückgelegter Strecke der Masterachse durch vorgegebenen Gesamtverfahrweg der Masterachse und dieser Wert mit einem konstanten Normierungsfaktor multipliziert wird und in einem zweiten Schritt ein Funktionswert y ermittelt wird, der vorzugsweise durch Multiplikation mit einem technologieabhängigen Faktor entnormiert und der entnormierte Wert dem Lageregler übergeben wird.

DE 43 23 831 A 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Steuerung von Transferachsen mit Eigenantrieb einer Zufuhr- oder Teiletransporteinrichtung an Werkzeugmaschinen.

Gemäß dem Stand der Technik, werden Transferachsen mit Eigenantrieb nach folgenden steuerungs-technischen Verfahren realisiert:

Ausgehend von einem Startimpuls, abgeleitet von einer Masterachse, wird der Transferachse ein Positionssollwert vorgegeben. Die Geschwindigkeit der Masterachse wird als konstant und bekannt vorausgesetzt, so daß sich die Maximalwerte von Geschwindigkeit und Beschleunigung der Transferachse als ebenfalls konstante Größen bestimmen lassen. Unter diesen Bedingungen ist auch die Gesamtverfahrzeit der Transferachse eine konstante, vorher bestimmbare, Größe. Dieses Prinzip ist auch bekannt für Transferachsen, welche nicht unmittelbar an eine Masterachse gekoppelt sind. Der Startimpuls kommt dabei von einer übergeordneten Steuerung.

Dieses Verfahren hat den Nachteil, daß die Masterachse eine konstante Geschwindigkeit besitzen muß. Probleme ergeben sich beispielsweise beim Hochlaufvorgang einer Presse, wenn diese als Masterachse fungiert. Die Transferachse kann in diesem Fall erst nach Erreichen der stationären Pressendrehzahl ihre Raststellung verlassen und mit der Masterachse gekoppelt werden. Bei Nichteinhaltung dieser Randbedingung können, in Abhängigkeit vom Freigängigkeitsverhalten, Kollisionen u. a. Probleme auftreten.

In Erweiterung des oben beschriebenen Verfahrens ist es bekannt, daß die Drehzahl bzw. die Geschwindigkeit der Masterachse als nicht konstant vorausgesetzt wird und ständig über geeignete Meßsysteme erfaßt wird. Diese Information wird in einer Steuerung bzw. einem Rechner erfaßt und derart weiterverarbeitet, daß für jeden Bewegungszyklus der Transferachse neue, aktualisierte Werte für die Maximalgeschwindigkeit sowie die Maximalbeschleunigung der Transferachse berechnet werden. Diese werden dann, wie in der DD 2 58 382 beschrieben, in einem Vergleicherbaustein mit den maximal zulässigen Werten verglichen. In Abhängigkeit vom Ergebnis des Vergleiches werden die Betriebsarten für die Presse bzw. die Transferachsen beeinflusst. Erreichen bzw. überschreiten die berechneten Werte beispielsweise die zulässigen Grenzwerte, werden die Transferachsen mit ihren zulässigen Maximalwerten für Geschwindigkeit und/oder Beschleunigung gefahren, während die Presse vom Dauerhub in den gesteuerten Einzelhub umgeschaltet wird.

Der Nachteil o.g. Anmeldung besteht darin, daß erstens nur eine sehr lose Kopplung zwischen Presse und Transferachse erreicht wird. Ein echter winkelsynchroner Betrieb ist nicht möglich. Für die Bewegungsüberlagerung von Pressestößen und Transfereinrichtung werden lediglich das Start- und Stoppsignal der Transferbewegungen herangezogen, deren Bewegungsabläufe bleiben jedoch unberücksichtigt.

Zweitens wird nicht auf dynamische Drehzahländerungen innerhalb eines Pressenhubs reagiert, so daß in kritischen Bewegungsphasen Kollisionen auftreten können.

Drittens wird ein Hauptproblem bekannter Transferachsen mit Eigenantrieb, die Nachbildung von vorgegebenen, verschiedenen Bewegungsgesetzen, in Anlehnung an mechanische Kurvengetriebe, nicht erwähnt.

In der DE 41 21 841 ist ein weiteres Verfahren zur

Steuerung bzw. zur Koordination von Transferachsen beschrieben. Den Kern bildet dabei ein sogenanntes Freigängigkeitsmodell, welches in Verbindung mit Toleranzbändern für eine maximale Auslastung des Komplexes Presse-Transfer unter Beachtung der Kollisionsbedingungen sorgen soll. Auf der Grundlage eines an sich bekannten Freigängigkeitsmodells werden die Startzeitpunkte, sowie die Führungsgrößen in Form von Geschwindigkeits-Zeit-Verläufen für die Achsantriebe zyklisch generiert.

Nachteilig ist hier erstens, daß keine elektronisch starre Kopplung zwischen Presse und Transfer erfolgt, wie es für einen echten Synchronbetrieb erforderlich ist. Zweitens wird auch hier das Problem der "elektronischen" Nachbildung mechanischer Kurvengetriebe nicht gelöst. Drittens ergeben sich für komplexe Bewegungsabläufe bei großen Geschwindigkeiten und Genauigkeiten hohe zu realisierende Rechenleistungen, wenn man von typischen Abtastzeiten in der Größenordnung < 2 ms ausgeht.

Nach der DE 34 25 066 ist eine weitere Steuerschaltung für Transferachsen mit Eigenantrieb bekannt. Diese Anordnung erlaubt sowohl den synchronen als auch den asynchronen Betrieb der Transferachsen bezüglich einer Presse. Die vollständig hardwaremäßig realisierte Anordnung geht dabei von einer rein inkrementalen Meßwerterfassung, Signalverarbeitung sowie Zeitbasis-erzeugung aus.

In einem Ausführungsbeispiel wird ein sogenannter Hubmusterspeicher erwähnt. In diesem Speicher sind für jede Transferachse die Bewegungsverläufe über dem Kurbelwinkel ($0 \dots 360^\circ$) der Masterachse abgelegt. Diese Anordnung hat folgende Nachteile: Erstens wird der Einsatz von inkremental arbeitenden Meßsystemen mit den bekannten Nachteilen erforderlich, was in Verbindung mit den eingesetzten Vor-Rückwärts-Zählern Referenzprobleme mit sich bringen kann. Speziell für die Pressenautomation mit ihren hohen sicherheitstechnischen Anforderungen, stellt dies einen schwerwiegenden Nachteil dar. Zweitens ist die Flexibilität hinsichtlich der Verwendung verschiedener Werkzeugsätze eingeschränkt, da für eine Transferachse immer nur ein bestimmtes Hubmuster hardwaremäßig im ROM zur Verfügung steht. Drittens erweist es sich als nachteilig, daß im o.g. Hubmusterspeicher der Verfahrweg einer Achse über den vollen Kurbelwinkelbereich der Presse (Masterachse) abgelegt ist. Es ergeben sich dabei je Verfahrregime unterschiedlich viele Stützstellen je aktivem Transferhub, da die Gesamtstützstellenanzahl lediglich bezüglich eines vollen Pressenhubs konstant ist. Die Anzahl Stützstellen je Transferhub hängt dabei vom Verhältnis Winkelbereich der Transferbewegung zu 360° ab und kann sehr unterschiedliche Größen annehmen. Für hochdynamische, präzise Bewegungsabläufe der Transferachsen ist diese Vorgehensweise nicht akzeptabel. Viertens ist es nachteilig, daß auch im Stillstand der Transferachsen stets Speicherzugriffe auf o.g. Hubmusterspeicher erforderlich sind.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Steuerung von Transferachsen zu schaffen, welches es gestattet im Gegensatz zum bekannten Stand der Technik, Bewegungsverläufe zu realisieren, die hinsichtlich ihrer Parameter Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruckverhalten den entsprechenden technologischen Erfordernissen angepaßt sind.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß die Positionssollwerte der einzelnen Transferachsen einer Zufuhr- oder Teiletransporteinrichtung mit

Eigenantrieb nach Übertragungsfunktionen, die den jeweiligen kinematischen und dynamischen Forderungen angepaßt sind, gebildet werden, indem die, bei synchron zu einer Masterbewegung sich bewegenden Transferachsen, über einen Istwertgeber in einem Abtastintervall aufgenommenen Signale für die Masterbewegung einer Steuereinheit übergeben werden, daraus in einem ersten Schritt innerhalb des Abtastintervalls das Argument x der normierten Übertragungsfunktion ermittelt wird, vorzugsweise durch Division von momentan zurückgelegter Strecke der Masterachse durch vorgegebenen Gesamtverfahrweg der Masterachse in Bezug auf die jeweilige Bewegung der Transferachse und dieser Wert mit einem konstanten Normierungsfaktor multipliziert wird und in einem zweiten Schritt ein Funktionswert y ermittelt wird, der vorzugsweise durch Multiplikation mit einem technologieabhängigen Faktor entnormiert und der entnormierte Wert dem Lageregler übergeben wird. Die Transferachsen bewegen sich synchron zu einer Masterbewegung, wobei die jeweiligen Transferachsen als Slave einer oder mehrerer Masterachsen folgen.

Die Masterbewegung kann dabei z. B. die Bewegung der Kurbelwelle oder die Stoßbewegung einer Presse sein.

Bei Transferbewegungen in vorgebbaren Zeitrastern wird in jedem Abtastintervall das Argument x der normierten Übertragungsfunktion $y(x)$ dadurch gebildet, indem die seit dem Startzeitpunkt vergangene Zeit durch die gesamte zur Verfügung stehende Zeit dividiert wird und der daraus gebildete Quotient mit einem konstanten Normierungsfaktor multipliziert wird.

Die Transferachsen können sich aber auch in einem genau vorgegebenen Zeitraster bewegen, wobei die Bewegungsgesetze in ein beliebiges technologisch bedingtes Zeitraster gelegt werden, um Transferbewegungen zu realisieren, ohne an eine starre Kopplung mit einer Masterbewegung gebunden zu sein.

Das ist der Fall, wenn besonders ruckarme und stoßfreie Bewegungen erforderlich sind, dabei aber keine extremen Anforderungen bezüglich Freigängigkeit und Synchronität gestellt werden.

Hierfür eignen sich besonders Bewegungsgesetze hoher Güte (Polynome 7. oder 9. Grades, zusammengesetzte Polynomfunktionen mit Splineinterpolation u. ä.). Durch entsprechende Übertragungsfunktionen können auch bei ruck- und stoßbehafteten Masterbewegungen stoßfreie Bewegungsverläufe der Transferachsen erreicht werden.

Dadurch ergeben sich bei kritischen Anlagenzuständen, Bewegungsverläufe der Transferachsen, die im Rahmen der Grenzwerte der Antriebselemente nur noch durch Freigängigkeitsforderungen der Technologie Restriktionen unterliegen.

Auch bei ruck- und stoßbehafteten Masterbewegungen können Bewegungsabläufe erzielt werden, die an signifikanten Punkten ruckfrei sind.

Bei technologischen Erfordernissen werden, an vom Anwender festzulegenden Stellen, ruckfreie Bewegungsverläufe dadurch realisiert, daß auf eine Übertragungsfunktion umgeschaltet wird, die genau an den gewünschten Stellen ruckfrei ist. Ruckfrei in diesem Sinne bedeutet, daß die mathematische Ableitung des Beschleunigungsverlaufes nach der Zeit an den entsprechenden Stellen Null ist.

Für jedes unterschiedliche Bewegungsgesetz ist nur eine Übertragungsfunktion erforderlich, die in einer Steuereinheit gespeichert ist. Diese Übertragungsfunk-

tionen sind, um für alle Anforderungen geeignet zu sein, in normierter Form abgelegt. Der Wertevorrat y der normierten Übertragungsfunktion $y(x)$ beträgt dabei vorzugsweise $0 \leq y \leq 1$. Der Definitionsbereich x wird dabei zweckmäßiger Weise so festgelegt, daß eine Übereinstimmung mit den konkreten Speicheradressen (Offsetadresse innerhalb eines bestimmten Segments) erzielt wird.

In der Steuereinheit werden aus den Informationssignalen eines Istwertgebers für die Masterbewegung die Argumente der normierten Übertragungsfunktion berechnet, um die synchronen Bewegungen der Transferachsen zu einer Masterbewegung zu bewirken.

Die jeweils erforderlichen frei parametrierbaren Bewegungsverläufe der Transferachsen werden durch angepaßte Entnormierungen der normierten Übertragungsfunktionen realisiert. In jedem Abtastintervall wird aus dem Informationssignal des Istwertgebers das Argument der normierten Übertragungsfunktion durch die Steuereinheit berechnet.

Diese Berechnung kann vorzugsweise als Division von momentan zurückgelegter Strecke der Masterachse durch programmierten Gesamtverfahrweg der Masterachse in Bezug auf die jeweilige Bewegung der Transferachse multipliziert mit einem konstanten Normierungsfaktor während der Transferbewegung ausgeführt werden.

Der in jedem Abtastintervall ermittelte Funktionswert y wird vorzugsweise durch eine Multiplikation mit einem technologieabhängigen Faktor (z. B. Gesamtverfahrweg der Transferachse) entnormiert und einem Lageregler übergeben. Mittels dieser ermittelten Werte werden die Transferbewegungen synchron zu einer Masterbewegung gesteuert.

Transferbewegungen in vorgebbaren Zeitrastern werden dadurch realisiert, daß in jedem Abtastintervall das Argument x der normierten Übertragungsfunktion $y(x)$ dadurch gebildet wird, indem die seit dem Startzeitpunkt vergangene Zeit durch die gesamte zur Verfügung stehende Zeit dividiert wird. Anschließend wird der sich ergebende Quotient mit dem konstanten Normierungsfaktor multipliziert.

Die Erfindung hat den Vorteil, daß die Bewegungsfunktionen während des laufenden Betriebes des Transfers verändert werden können. Das heißt, entsprechend der technologischen Erfordernisse können bei laufenden Betrieb der Anlage die Bewegungsfunktionen gewechselt werden, um damit die Nachteile klassischer Transferachsen dahingehend zu vermeiden, daß bei anlagebedingten stoßbehafteten Masterbewegungen (z. B. Not-Aus, Einkuppeln bei von Null abweichender Drehzahl u. ä.) die negativen Einflüsse von den Transferachsen ferngehalten werden.

Anhand des folgenden Ausführungsbeispiels soll das Wesen der Erfindung näher erläutert werden. Als Masterachse sei die Kurbelwelle einer Exzenterpresse angenommen. Die Stellung dieser Welle wird über ein vorzugsweise absolut arbeitendes Meßsystem ständig erfaßt und einer Achssteuerung mitgeteilt. In dieser Steuerung ist in Form eines technologischen Anwendungsprogramms festgelegt, in welchem Winkelbereich der Presse (Start-/Stopwinkel) die Transferachse welchen Weg zurücklegt.

Dieser programmierte Verfahrweg der Transferachse fungiert später als Entnormierungsfaktor.

Mit Erreichen des Startwinkels wird der erste Wert, der in Tabellenform abgespeicherten normierten Funktion $y(x_1)$, aus dem Speicher gelesen und mit oben ge-

nannten Entnormierungsfaktor multipliziert. Das Produkt wird dem Lageregler der Transferachse als Positionssollwert übergeben. In jedem weiteren Abtastintervall n wird die momentane Position der Masterachse (Presse) erfaßt, und der seit dem Startwinkel zurückgelegte Winkel berechnet. Dieser momentan zurückgelegte Winkel wird durch den gesamten Winkelbereich der Masterachse, innerhalb dessen sich die Transferachse bewegt, dividiert. Es ergibt sich ein Wert im Bereich von 0 bis 1. Dieser Wert wird in diesem Ausführungsbeispiel mit einem konstanten Faktor 4095 multipliziert und auf eine ganze Zahl gerundet. Das Ergebnis ist eine Zahl x_n , die als niederwertiger 12-Bit-Adreßteil zusammen mit einem im Anwenderprogramm stehenden, höherwertigen 4-Bit-Adreßteil zur Adressierung des Funktionswertes $y_p(x_n)$ genutzt wird. Man teilt den Speicherbereich für die verschiedenen Bewegungsfunktionen zweckmäßigerweise in 16 verschiedene Segmente auf, wobei diese durch die höherwertigen 4 Bit selektiert werden.

Damit ergibt sich folgender Wertevorrat der Indizes:

$$0 \leq n \leq 4095$$

$$0 \leq p, q \leq 15$$

Der auf der konkreten Speicheradresse stehende Funktionswert $y_p(x_n)$ wird jetzt mit o. g. Entnormierungsfaktor multipliziert und dem Lageregler der Transferachse übergeben.

Mit dem Erreichen der Endposition wird diese als statischer Positionssollwert solange dem Lageregler übergeben, bis ein erneuter Bewegungszyklus der Transferachse beginnt. Diese statische Phase ist dadurch gekennzeichnet, daß kein Zugriff auf die Bewegungsfunktion $y_p(x)$ erfolgt.

In den Speicherbereichen für o.g. Bewegungsfunktionen sind erfindungsgemäß nur die aktiven Bewegungsabläufe abgelegt. Dabei ist es möglich, und auch sehr sinnvoll, für die Hin- und für die Rückbewegung der jeweiligen Transferachse unterschiedliche Bewegungsfunktionen $y(x)$ aus dem Speicher aufrufen.

Beim Eintreten kritischer Anlagenzustände kann ebenfalls sofort über die Steuerung der höherwertigen Adreßteil umgeschaltet werden, und damit eine konkrete Havariebewegungsfunktion $y_p(x)$ aktiviert werden.

Diese Bewegungsfunktion wird in Abhängigkeit vom konkreten Anlagenzustand entweder wieder als Slavebewegung mit der Masterachse synchronisiert, oder die Transferachse wird von der Masterachse völlig entkoppelt, indem der Adreßbereich der Funktion $y_p(x)$ zeitzyklisch äquidistant durchlaufen wird.

Die einzigen Einschränkungen ergeben sich nur noch durch Grenzen der mechanischen Übertragungselemente bzw. der Leistungsparameter der eingesetzten Antriebe. Diese Grenzwertbetrachtung erfolgt in Form einer Plausibilitätskontrolle außerhalb des zyklischen Programmes.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung von Transferachsen mit Eigenantrieb einer Zufuhr- oder Teiletransporteinrichtung an Werkzeugmaschinen, dadurch gekennzeichnet, daß die Positionssollwerte der einzelnen Transferachsen nach Übertragungsfunktionen $y(x)$, die den jeweiligen kinematischen und dynamischen Forderungen angepaßt sind, gebildet werden, indem die, bei synchron zu einer Masterbe-

wegung sich bewegenden Transferachsen, über einen Istwertgeber in einem Abtastintervall aufgenommenen Signale, für die Masterbewegung einer Steuereinheit übergeben werden, daraus in einem ersten Schritt innerhalb des Abtastintervalls das Argument x der normierten Übertragungsfunktion ermittelt wird, vorzugsweise durch Division von momentan zurückgelegter Strecke der Masterachse durch vorgegebenen Gesamtverfahrweg der Masterachse und dieser Wert mit einem konstanten Normierungsfaktor multipliziert wird und in einem zweiten Schritt ein Funktionswert y ermittelt wird, der vorzugsweise durch Multiplikation mit einem technologieabhängigen Faktor entnormiert und der entnormierte Wert dem Lageregler übergeben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei Transferbewegungen in vorgebaren Zeitrastern in jedem Abtastintervall das Argument x der normierten Übertragungsfunktion $y(x)$ dadurch gebildet wird, indem die seit dem Startzeitpunkt vergangene Zeit durch die gesamte zur Verfügung stehende Zeit dividiert wird und der daraus gebildete Quotient mit einem konstanten Normierungsfaktor multipliziert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Transferachsen frei parametrierbare Bewegungen, unabhängig von einer Masterbewegung ausführen, indem der Definitionsbereich der normierten Übertragungsfunktion zeitlich äquidistant mit konstanter Schrittweite durchlaufen wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auch bei ruck- und stoßbehafteten Masterbewegungen, stoßfreie Bewegungsverläufe der Transferachsen erreicht werden, indem entsprechende Übertragungsfunktionen verwendet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß auch bei ruck- und stoßbehafteten Masterbewegungen, Bewegungsverläufe der Transferachsen erzielt werden, welche an signifikanten Punkten ruckfrei sind.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, daß eine oder mehrere Übertragungsfunktionen in normierter Form gespeichert sind.